

文章编号: 1001-0920(2013)08-1247-06

## 基于链链竞争的闭环供应链渠道结构选择策略

宋敏, 黄敏, 王兴伟

(东北大学 a. 信息科学与工程学院, b. 流程工业综合自动化国家重点实验室, 沈阳 110819)

**摘要:** 研究当零售商之间存在价格竞争时, 两条竞争闭环供应链的渠道结构选择问题. 结果表明: 从供应链系统总利润角度出发, 当两条链之间竞争强度较小时, 中心化渠道结构占优; 反之, 分散化渠道结构占优. 从消费者与环境的角度出发, 无论两链之间竞争强度为何值, 两条链同时选择中心化渠道结构时最有利.

**关键词:** 闭环供应链; 供应链竞争; 渠道结构; 博弈论

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

### Selection strategies of channel structure for competing closed-loop supply chains

SONG Min, HUANG Min, WANG Xing-wei

(a. College of Information Science and Engineering, b. State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Correspondent: HUANG Min, E-mail: mh Huang@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** Selection strategies of the channel structure for two competing closed-loop supply chains are investigated by the presence of price competition in retail. Results show that from the perspective of the total profit of the supply chain, the centralized channel structure dominates the decentralized channel structure when the competing intensity is relatively small; conversely, the decentralized channel structure outweighs the centralized channel structure when the competing intensity is very large. From the perspective of the consumers and the environment, irrespective of the competing intensity, coherent selection on the centralized channel structure is the best choice.

**Key words:** closed-loop supply chain; supply chain competition; channel structure; game theory

### 0 引言

闭环供应链 (CLSC) 是传统的正向供应链并上逆向供应链而形成的一个完整的环状供应链体系<sup>[1]</sup>. 近几年, 随着市场竞争日益增强, 竞争环境下的闭环供应链管理受到了学者和业界的广泛关注<sup>[2-4]</sup>. Savaskan 等<sup>[2]</sup>研究了基于零售商竞争的多级闭环供应链系统的逆向回收渠道设计问题. Wei 等<sup>[3]</sup>研究了基于零售商竞争的多级闭环供应链系统在模糊环境下的定价问题. 韩小花等<sup>[4]</sup>研究了基于制造商竞争的闭环供应链的渠道管理问题. 虽然, 这些研究为闭环供应链管理提供了有力的理论依据, 但都仅局限于供应链内公司与公司之间竞争的环境.

为了应对全球化不断加剧的竞争, 现代商业竞争模式已不仅仅是公司与公司的竞争, 多数情况下是供应链与供应链之间的竞争<sup>[5]</sup>. 链链竞争现象在业界已形成一定的共识, 在理论研究方面也已开始受到关注. 目前, 针对基于链链竞争的供应链优化问题的研究大都集中于开环供应链系统. Ha 等<sup>[6]</sup>研究了两条竞争供应链之间存在 Cournot 竞争与两条竞争供应链之间存在 Bertrand 竞争两种情形下, 规模不经济与竞争强度对信息共享决策的影响. Anderson 等<sup>[7]</sup>研究了任意  $N$  条竞争供应链的定价问题. 李娟等<sup>[8]</sup>在供应链竞争的范畴下, 分析了不同约束条件下整个系统的均衡库存管理方式. 也有为数不多的学者对基于链链竞争

收稿日期: 2012-06-18; 修回日期: 2012-10-17.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71071028, 70931001, 71021061, 61070162); 国家杰出青年科学基金项目(61225012); 高等学校博士学科点专项科研基金优先发展领域课题(20120042130003); 高等学校博士学科点专项科研基金课题(20110042110024, 20100042110025); 工信部物联网发展专项资金项目; 中央高校基本科研业务费专项资金项目(N100604021, N110204003, N120104001).

**作者简介:** 宋敏(1982—), 女, 博士生, 从事供应链管理的研究; 黄敏(1968—), 女, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理研究.

的闭环供应链优化问题进行了研究,大都集中于讨论由制造商与零售商构成的结构相对简单的竞争闭环供应链的回收渠道选择问题<sup>[9-10]</sup>,而针对基于链链竞争的闭环供应链管理中的其他问题的研究目前仍是空白.

考虑到供应链渠道结构的选择会直接影响到供应链中其他决策的效率,在供应链管理中起着举足轻重的作用<sup>[11-12]</sup>,而且现实中回收工作一般由第三方负责,本文对基于链链竞争的由一个制造商、一个零售商以及一个第三方回收商构成的多级闭环供应链的渠道结构选择策略问题进行了研究.主要做了以下3方面工作:1) 基于博弈论,分别给出了不同渠道结构组合下各闭环供应链的最优回收与定价策略;2) 通过对比分析给出了不同竞争强度下,基于供应链系统总利润的闭环供应链渠道结构选择博弈的均衡解;3) 分析了闭环供应链渠道结构选择策略对消费者及环境的影响.

## 1 问题描述

### 1.1 模型框架

本文考虑两条完全相同的多级闭环供应链.每条闭环供应链均由一个制造商、一个零售商以及一个第三方回收商构成.模型框架如图1所示.

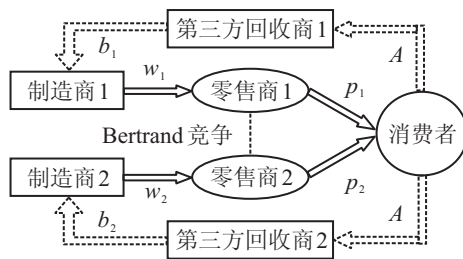


图1 竞争的闭环供应链

在传统的正向供应链中,制造商负责生产产品并以批发价将产品批发给零售商,再经零售商零售给消费者;在逆向供应链中第三方回收商从消费者手中回收废旧产品,再以转移支付价格将其卖给制造商进行再制造.每条闭环供应链可以采用中心化渠道结构,也可以采用分散化渠道结构.假设两条闭环供应链中的零售商之间存在价格竞争,再制造产品与新产品没有区别,制造商、零售商以及第三方回收商都是风险中性和完全理性的.

本文研究的主要问题是:在两条闭环供应链之间存在价格竞争时,每条闭环供应链应选择怎样的渠道结构?

为便于描述,首先给出变量定义和符号说明.

### 1.2 变量定义和符号说明

定义  $w$  为单位产品批发价,  $p$  为单位产品零售价,

$\tau$  为回收率. 本文假设  $\tau = \sqrt{I/C_L}$ . 其中:  $I$  为第三方回收商的回收努力成本,  $C_L$  为一标量参数. 回收率的这种表达形式被大多文献所采用<sup>[2-4]</sup>. 本文假设  $C_L$  足够大,可以使  $\tau^* < 1$ . 这一假设具有合理性. 由于现实中消费者的分散性,想要回收 100% 的废旧产品几乎是不可能的,即现实中无论回收努力成本为多少,回收率肯定小于 1. 定义  $c_m$  为制造商制造新产品的单位成本;  $c_r$  为制造商进行再制造的单位成本;  $\Delta$  为制造商进行再制造所能节约的单位成本,  $\Delta = c_m - c_r$ ;  $A$  为第三方回收商从消费者手中回收产品的单位回收价格;  $b$  为制造商从第三方回收商手中购买废旧产品的单位转移支付价格;  $D$  为市场需求. 因本文考虑两个零售商之间存在价格竞争的情形,所以假设需求函数为如下形式:  $D_j = \phi - p_j + \beta p_{3-j}$ ,  $j = 1, 2$ . 其中:  $\phi$  表示市场容量,  $\beta$  表示消费者对零售价格的敏感程度,二者均为常量,且  $0 < \beta < 1$ . 定义  $\pi$  为利润.

上角标  $CC, DD, H$  分别代表两条闭环供应链均采用中心化渠道结构,两条闭环供应链均采用分散化渠道结构,以及两条闭环供应链中一条采用中心化渠道结构、另外一条采用分散化渠道结构(混合渠道结构)的情形.

下角标  $j$  代表第  $j$  条闭环供应链. 特别强调,下角标中的  $hc$  代表混合渠道结构中采用中心化渠道结构的闭环供应链,  $hd$  代表混合渠道结构中采用分散化渠道结构的闭环供应链.  $M_j$  代表第  $j$  条闭环供应链中的制造商,  $R_j$  代表第  $j$  条闭环供应链中的零售商,  $T_j$  代表第  $j$  条闭环供应链中的第三方回收商.

根据以上问题描述,可得第  $j$  条闭环供应链中制造商、零售商以及第三方回收商的利润分别为

$$\pi_{M_j} = [w_j - c_m + (\Delta - b_j)\tau_j](\phi - p_j + \beta p_{3-j}), \quad (1)$$

$$\pi_{R_j} = (p_j - w_j)(\phi - p_j + \beta p_{3-j}), \quad (2)$$

$$\pi_{T_j} = (b_j - A)(\phi - p_j + \beta p_{3-j})\tau_j - C_L\tau_j^2. \quad (3)$$

## 2 不同渠道结构下各闭环供应链的最优回收与定价策略

本节将讨论两条链均采用中心化渠道结构( $C-C$  渠道结构),两条链均采用分散化渠道结构( $D-D$  渠道结构),以及两条链中一条采用中心化渠道结构、另外一条采用分散化渠道结构( $H$  渠道结构)3种情形下各闭环供应链的最优回收与定价策略.为方便叙述,记  $A' = 4C_L - \Omega$ ,  $B' = 2C_L - \Omega$ ,  $C' = 16C_L - \Omega$ ,  $D' = 12C_L - \Omega$ ,  $E' = 8C_L - \Omega$ ,  $F' = 48C_L - \Omega$ , 其中  $\Omega = (\Delta - A)^2$ .

### 2.1 $C-C$ 渠道结构

在中心化渠道结构中制造商、零售商和第三方回收商联盟以实现整条闭环供应链系统利润最大化.

这种情况下,  $w$  和  $b$  是系统内部参数不影响整体决策. 对各条闭环供应链的决策者而言, 其决策目标是选择最优的零售价和回收率使整条链的系统利润达到最大. 具体模型为

$$\max_{p_j^{CC}, \tau_j^{CC}} \pi_j^{CC}, \quad (4)$$

其中

$$\pi_j^{CC} = [(p_j^{CC} - c_m) + (\Delta - A)\tau_j^{CC}](\phi - p_j^{CC} + \beta p_{3-j}^{CC}) - C_L(\tau_j^{CC})^2.$$

易证,  $\pi_j^{CC}$  是  $p_j^{CC}$  和  $\tau_j^{CC}$  的联合凹函数. 进而由一阶导条件可得

$$p_j^{CC} = \frac{2C_L c_m + B'(\phi + \beta p_{3-j}^{CC})}{A'}$$

因两条链之间存在价格竞争, 所以解下列方程组:

$$\begin{cases} p_j^{CC} = \frac{2C_L c_m + B'(\phi + \beta p_{3-j}^{CC})}{A'}, \\ p_{3-j}^{CC} = \frac{2C_L c_m + B'(\phi + \beta p_j^{CC})}{A'}, \end{cases}$$

可得

$$p_j^{CC*} = p_{3-j}^{CC*} = c_m + \frac{B'(\phi - c_m + \beta c_m)}{A' - \beta B'}. \quad (5)$$

将式 (5) 分别代入其他决策变量的最优反应函数中, 可知如下定理成立.

**定理 1**  $C - C$  渠道结构下, 供应链  $j$  ( $j = 1, 2$ ) 的最优定价与回收策略如下:

$$\begin{aligned} p_j^{CC*} &= c_m + \frac{B'(\phi - c_m + \beta c_m)}{A' - \beta B'}, \\ \tau_j^{CC*} &= \frac{(\Delta - A)(\phi - c_m + \beta c_m)}{A' - \beta B'}. \end{aligned}$$

此时, 系统的总利润为

$$\pi_j^{CC*} = \frac{C_L A' (\phi - c_m + \beta c_m)^2}{(A' - \beta B')^2}.$$

### 2.2 $D - D$ 渠道结构

若闭环供应链采用分散化渠道结构, 则理性的决策者都会追求自身利益的最大化, 而不考虑系统的整体利益. 通常情况下, 制造商是资源的占有方, 因此本文假设各条闭环供应链中进行着以制造商为主方 ( $L$ )、零售商和第三方回收商为从方的一主多从 Stackelberg 博弈, 其中零售商 ( $F_1$ ) 和第三方回收商 ( $F_2$ ) 之间采取非合作 Nash 对策. 具体模型为

$$\begin{cases} (L) : \max_{w_j^{DD}, b_j^{DD}} \pi_{Mj}^{DD}(w_j^{DD}, b_j^{DD}; p_j^{DD}, \tau_j^{DD}); \\ \quad \text{s.t. } p_j^{DD} = \arg \max_{p_j^{DD}} \pi_{Rj}^{DD}(p_j^{DD}; w_j^{DD}), \\ \quad \tau_j^{DD} = \arg \max_{\tau_j^{DD}} \pi_{Tj}^{DD}(\tau_j^{DD}; b_j^{DD}); \\ (F_1) : \max_{p_j^{DD}} \pi_{Rj}^{DD}(p_j^{DD}; w_j^{DD}); \\ (F_2) : \max_{\tau_j^{DD}} \pi_{Tj}^{DD}(\tau_j^{DD}; b_j^{DD}). \end{cases} \quad (6)$$

采用逆向归纳法对模型 (6) 进行求解, 可得

$$p_j^{DD} = \frac{4C_L c_m + D'(\phi + \beta p_{3-j}^{DD})}{C'}$$

因为两链中的零售商之间存在价格竞争, 所以解下列方程组:

$$\begin{cases} p_j^{DD} = \frac{4C_L c_m + D'(\phi + \beta p_{3-j}^{DD})}{C'}, \\ p_{3-j}^{DD} = \frac{4C_L c_m + D'(\phi + \beta p_j^{DD})}{C'}, \end{cases}$$

可得

$$p_j^{DD*} = p_{3-j}^{DD*} = c_m + \frac{D'(\phi - c_m + \beta c_m)}{C' - \beta D'}. \quad (7)$$

将式 (7) 分别代入其他决策变量的最优反应函数中, 可知如下定理成立.

**定理 2**  $D - D$  渠道结构下, 供应链  $j$  ( $j = 1, 2$ ) 的最优定价与回收策略如下:

$$\begin{aligned} w_j^{DD*} &= \frac{E'(4C_L c_m \beta + \phi C')}{C'(C' - \beta D')} + \frac{8C_L c_m}{C'}, \\ b_j^{DD*} &= \frac{\Delta + A}{2}, \\ p_j^{DD*} &= c_m + \frac{D'(\phi - c_m + \beta c_m)}{C' - \beta D'}, \\ \tau_j^{DD*} &= \frac{(\Delta - A)(\phi - c_m + \beta c_m)}{C' - \beta D'}. \end{aligned}$$

此时, 系统的总利润为

$$\pi_j^{DD*} = \frac{C_L F'(\phi - c_m + \beta c_m)^2}{(C' - \beta D')^2}.$$

### 2.3 $H$ 渠道结构

$H$  渠道结构中选择中心化渠道结构的闭环供应链, 其决策目标是选择最优零售价及回收率使整条链的系统利润达到最大. 具体模型为

$$\max_{p_{hc}^H, \tau_{hc}^H} \pi_{hc}^H, \quad (8)$$

其中

$$\pi_{hc}^H = [(p_{hc}^H - c_m) + (\Delta - A)\tau_{hc}^H](\phi - p_{hc}^H + \beta p_{hd}^H) - C_L(\tau_{hc}^H)^2.$$

选择分散化渠道结构的闭环供应链中, 各成员之间进行着以制造商为主方 ( $L$ )、零售商和第三方回收商为从方的一主多从 Stackelberg 博弈, 其中零售商 ( $F_1$ ) 和第三方回收商 ( $F_2$ ) 之间采取非合作 Nash 对策. 具体模型为

$$\begin{cases} (L) : \max_{w_{hd}^H, b_{hd}^H} \pi_{Mhd}^H(w_{hd}^H, b_{hd}^H; p_{hd}^H, \tau_{hd}^H); \\ \quad \text{s.t. } p_{hd}^H = \arg \max_{p_{hd}^H} \pi_{Rhd}^H(p_{hd}^H; w_{hd}^H), \\ \quad \tau_{hd}^H = \arg \max_{\tau_{hd}^H} \pi_{Thd}^H(\tau_{hd}^H; b_{hd}^H); \\ (F_1) : \max_{p_{hd}^H} \pi_{Rhd}^H(p_{hd}^H; w_{hd}^H); \\ (F_2) : \max_{\tau_{hd}^H} \pi_{Thd}^H(\tau_{hd}^H; b_{hd}^H). \end{cases} \quad (9)$$

采用与2.1节和2.2节中相同的方法分别对模型(8)和(9)进行求解,可得

$$p_{hc}^H = \frac{2C_L c_m + B'(\phi + \beta p_{hd}^H)}{C'}, \quad (10)$$

$$p_{hd}^H = \frac{4C_L c_m + D'(\phi + \beta p_{hd}^H)}{C'}. \quad (11)$$

联立式(10)和(11),解得

$$p_{hc}^{H*} = c_m + \frac{B'(C' + \beta D')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'}, \quad (12)$$

$$p_{hd}^{H*} = c_m + \frac{D'(A' + \beta B')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'}. \quad (13)$$

将式(12)和(13)分别代入其他决策变量的最优反应函数中,可知如下定理成立.

**定理3**  $H$ 渠道结构下,两条闭环供应链的最优回收与定价策略如下:

$$w_{hd}^{H*} = \frac{8C_L c_m + (\phi + \beta p_{hc}^{H*})E'}{C'},$$

$$b_{hd}^{H*} = \frac{\Delta + A}{2},$$

$$p_{hc}^{H*} = c_m + \frac{B'(C' + \beta D')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'D'},$$

$$p_{hd}^{H*} = c_m + \frac{D'(A' + \beta B')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'D'},$$

$$\tau_{hc}^{H*} = \frac{(\Delta - A)(C' + \beta D')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'D'},$$

$$\tau_{hd}^{H*} = \frac{(\Delta - A)(A' + \beta B')(\phi - c_m + \beta c_m)}{A'C' - \beta^2 B'D'}.$$

此时,两条链的总利润分别为

$$\pi_{hc}^{H*} = \frac{C_L A'(C' + \beta D')^2 (\phi - c_m + \beta c_m)^2}{(A'C' - \beta^2 B'D')^2},$$

$$\pi_{hd}^{H*} = \frac{C_L F'(A' + \beta B')^2 (\phi - c_m + \beta c_m)^2}{(A'C' - \beta^2 B'D')^2}.$$

### 3 基于链链竞争的闭环供应链均衡渠道结构

首先考察  $\pi_j^{CC*}$ 、 $\pi_j^{DD*}$ 、 $\pi_{hc}^{H*}$  以及  $\pi_{hd}^{H*}$  之间的大小关系.

通过简单推导可知,如下定理成立.

**定理4**  $\pi_j^{CC*}$ 、 $\pi_j^{DD*}$ 、 $\pi_{hc}^{H*}$  以及  $\pi_{hd}^{H*}$  之间存在以下关系:

- 1) 当  $0 < \beta < \beta'$  时,  $\pi_{hc}^{H*} > \pi_j^{CC*} > \pi_j^{DD*} > \pi_{hd}^{H*}$ ;
- 2) 当  $\beta' < \beta < \beta''$  时,  $\pi_{hc}^{H*} > \pi_j^{DD*} > \pi_j^{CC*} > \pi_{hd}^{H*}$ ;
- 3) 当  $\beta'' < \beta < \beta'''$  时,  $\pi_j^{DD*} > \pi_{hc}^{H*} > \pi_j^{CC*} > \pi_{hd}^{H*}$ ;
- 4) 当  $\beta''' < \beta < 1$  时,  $\pi_j^{DD*} > \pi_{hc}^{H*} > \pi_{hd}^{H*} > \pi_j^{CC*}$ .

其中

$$\beta' = \theta, \beta'' = \sqrt{\frac{C'\theta}{D'}}, \beta''' = \sqrt{\frac{A'\theta}{B'}},$$

$$\theta = \frac{\sqrt{A'C'} - \sqrt{F'A'}}{\sqrt{A'D'} - \sqrt{F'B'}}.$$

定理4成立的根本原因在于,横向中的价格竞争可以在某种程度上弱化纵向结构中的双重加价行为.

当竞争相对较弱时,渠道外部性占据主导地位,中心化渠道结构优于分散化渠道结构;相反,当竞争激烈到一定程度时,横向外部性占主导地位,从而使分散化纵向控制结构占优.

为了直观显示对比结果,本文给出一个数值算例的相应结果(本文所用算例中各参数取值如下:  $C_L = 1000$ ,  $\phi = 100$ ,  $c_m = 20$ ,  $\Delta = 15$ ,  $A = 5$ ),如图2所示.

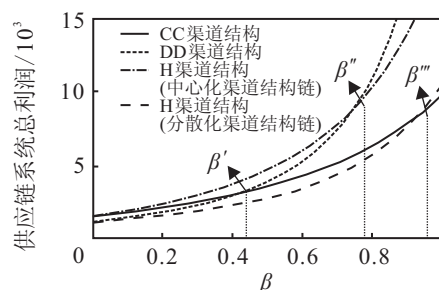


图2 不同竞争强度下的供应链系统总利润

由定理4可以得到以下结论:

1) 当两条链之间的竞争相对较弱时,中心化渠道结构优于分散化渠道结构;反之,分散化渠道结构优于中心化渠道结构(因为,当  $0 < \beta < \beta'$  时,  $\pi_j^{CC*} > \pi_j^{DD*}$ ; 当  $\beta' < \beta < 1$  时,  $\pi_j^{CC*} < \pi_j^{DD*}$  ( $j = 1, 2$ )).

2) 当竞争对手采用分散化渠道结构时,只有在竞争强度相对较弱时自己采用中心化渠道结构才有竞争优势;否则,当竞争强度较强时,自己也应放松对零售商及第三方回收商的控制,即采用分散化渠道结构(因为,当  $0 < \beta < \beta''$  时,  $\pi_{hc}^{H*} > \pi_j^{DD*}$ ; 当  $\beta'' < \beta < 1$  时,  $\pi_{hc}^{H*} < \pi_j^{DD*}$ ).

3) 当竞争对手采用中心化渠道结构时,在竞争强度相对较弱时自己仍采用中心化渠道结构;而当竞争强度较强时,自己则可以通过放松对零售商和第三方回收商的控制,即采用分散化渠道结构来获得竞争优势(因为,当  $0 < \beta < \beta'''$  时,  $\pi_j^{CC*} > \pi_{hd}^{H*}$ ; 当  $\beta''' < \beta < 1$  时,  $\pi_j^{CC*} < \pi_{hd}^{H*}$ ).

综上所述:

1) 当  $0 < \beta < \beta'$  时,闭环供应链渠道结构选择博弈的均衡结构为  $C-C$  结构.此时,中心化渠道结构为占优策略.如  $\beta = 0.3$  时,两链的博弈矩阵如下:

		闭环供应链2	
		中心化结构	分散化结构
闭环供应链1	中心化结构	(2 601, 2 601)	(3 039, 1 967)
	分散化结构	(1 967, 3 039)	(2 330, 2 330)

2) 当  $\beta' < \beta < \beta''$  时,闭环供应链渠道结构选择博弈的均衡结构仍为  $C-C$  结构.但此时的  $C-C$  结构为低效的囚徒困境均衡.  $D-D$  结构可以实现

Pareto 改进. 如  $\beta = 0.5$  时, 两链的博弈矩阵如下:

		闭环供应链 2	
		中心化结构	分散化结构
闭环 供应 链 1	中心化结构	(3 630, 3 630)	(4 748, 2 873)
	分散化结构	(2 873, 4 748)	(3 919, 3 919)

3) 当  $\beta'' < \beta < \beta'''$  时, 闭环供应链渠道结构选择博弈是一个双均衡博弈问题.  $C - C$  结构和  $D - D$  结构均为纳什均衡结构, 其中  $D - D$  结构具有 Pareto 优势. 如  $\beta = 0.8$  时, 两链的博弈矩阵如下:

		闭环供应链 2	
		中心化结构	分散化结构
闭环 供应 链 1	中心化结构	(6 345, 6 345)	(10 277, 5 738)
	分散化结构	(5 738, 10 277)	(10 845, 10 845)

4) 当  $\beta''' < \beta < 1$  时, 闭环供应链渠道结构选择博弈的均衡结构为  $D - D$  结构. 此时, 分散化渠道结构为占优策略. 如  $\beta = 0.95$  时, 两链的博弈矩阵如下:

		闭环供应链 2	
		中心化结构	分散化结构
闭环 供应 链 1	中心化结构	(8 709, 8 709)	(16 344, 8 828)
	分散化结构	(8 828, 16 344)	(22 235, 22 235)

## 4 闭环供应链渠道结构对消费者及环境的影响

### 4.1 闭环供应链渠道结构对消费者的影响

通过对 3 种渠道结构下的产品零售价进行对比可知, 如下定理成立.

**定理 5**  $p_j^{CC*}$ 、 $p_j^{DD*}$ 、 $p_{hc}^{H*}$  以及  $p_{hd}^{H*}$  之间存在以下关系:

$$p_j^{CC*} < p_{hc}^{H*} < p_{hd}^{H*} < p_j^{DD*}.$$

定理 5 成立的根本原因在于分散化渠道结构中存在双重加价现象. 因为对于每条链而言, 双重加价现象本身会使分散化渠道结构中的零售价高于中心化渠道结构中的零售价, 这意味着, 在两链存在价格竞争时,  $D - D$  渠道结构中的价格竞争激烈程度较其他两种渠道结构中的激烈程度要相对弱一些, 这使得  $D - D$  渠道结构中的均衡零售价相对高一些. 相反,  $C - C$  渠道结构中的价格竞争激烈程度是 3 种渠道结构中最强的, 从而使得  $C - C$  渠道结构中的均衡零售价也是最高的.  $H$  渠道结构中的价格竞争激烈程度介于  $C - C$  渠道结构与  $D - D$  渠道结构价格竞争激烈程度之间, 所以, 相应的均衡零售价也介于二者的零售价之间, 而且由于分散化渠道结构中存在双重加价现象, 使得  $H$  渠道结构中, 采用分散化渠道结构的闭环供应链中的零售价要高于采用中心化渠道结构的闭环供应链中的零售价. 各渠道结构在不同竞争强度下的产品零售价格如图 3 所示.

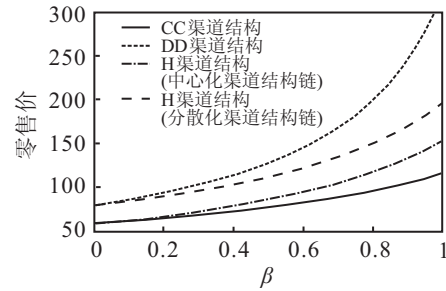


图 3 不同竞争强度下的产品零售价格

由定理 5 可知, 无论竞争强度大或小, 对消费者最有利的结构总是  $C - C$  结构.

### 4.2 闭环供应链渠道结构对环境的影响

通过对 3 种渠道下系统的回收率进行对比可知, 如下定理成立.

**定理 6** 3 种渠道下系统的回收率之间存在以下关系:

$$2\tau^{C*} > \tau_{hc}^{H*} + \tau_{hd}^{H*} > 2\tau^{D*}.$$

这是因为在 3 种渠道结构中,  $C - C$  渠道结构中的产品零售价最低, 相应的  $C - C$  渠道结构中产品的需求也最高, 这使得回收相对容易, 所以, 3 种渠道结构中  $C - C$  渠道结构中的产品回收率最高. 相反, 3 种渠道结构中  $D - D$  渠道结构中的产品零售价最高, 相应的  $D - D$  渠道结构中产品的需求最低, 这使得回收相对较难, 所以, 3 种渠道结构中  $D - D$  渠道结构中的产品回收率最低.  $H$  渠道结构中的产品零售价介于  $C - C$  渠道结构与  $D - D$  渠道结构之间, 其需求也介于二者之间, 所以, 最终导致系统回收率也介于二者之间, 如图 4 所示.

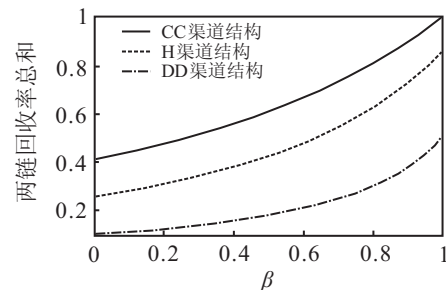


图 4 不同竞争强度下的两链的回收率总和

由定理 6 可知, 无论竞争强度大或小, 对环境保护最有利的结构总是  $C - C$  结构.

## 5 结 论

本文研究了基于链链竞争的闭环供应链的渠道结构选择问题. 在考虑两条闭环供应链的零售商之间存在价格竞争的条件下, 首先应用博弈论方法给出了不同渠道结构组合下各闭环供应链的最优回收与定价决策; 然后, 通过对比分析给出了不同竞争强度下,



基于供应链系统总利润的闭环供应链渠道结构选择博弈的均衡解;最后,分析了闭环供应链渠道结构选择策略对消费者及环境的影响.数值分析表明:基于链链竞争的闭环供应链均衡渠道结构与竞争强度息息相关.当两条链之间竞争强度较小时中心化渠道结构占优;随着竞争强度的增大会出现低效的囚徒困境均衡与双均衡的情况;当竞争强度增大到一定程度时,分散化渠道结构占优;无论竞争强度大或小,当两条闭环供应链同时选择中心化渠道结构时对消费者和环境最有利.

对结构不同的两条竞争闭环供应链的决策问题将是进一步要研究的课题.

### 参考文献(References)

- [1] Daniel V, Guide R, Van Wassenhove L N. OR FORUM – The evolution of closed-loop supply chain research[J]. *Operation Research*, 2009, 57(1): 10-18.
- [2] Savaskan R C, Van Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers[J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 1-14.
- [3] Wei J, Zhao J. Pricing decisions with retail competition in a fuzzy closed-loop supply chain[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(9): 11209-11216.
- [4] 韩小花. 基于制造商竞争的闭环供应链回收渠道的决策分析[J]. *系统工程*, 2010, 28(5): 36-41.  
(Han X H. Decision analysis of recycling channel of closed-loop supply chain based on manufacturer's competition[J]. *Systems Engineering*, 2010, 28(5): 36-41.)
- [5] Mentzer J T, Dewitt W, Keebler J S, et al. Defining supply chain management[J]. *J of Business Logistics*, 2001, 22(2): 1-25.
- [6] Ha A Y, Tong S L, Zhang H T. Sharing demand information in competing supply chains with production diseconomies[J]. *Management Science*, 2011, 57(3): 566-581.
- [7] Anderson E J, Bao Y. Price competition with integrated and decentralized supply chains[J]. *European J of Operational Research*, 2010, 200(1): 227-234.
- [8] 李娟, 黄培清, 顾峰, 等. 基于供应链间品牌竞争的库存管理策略研究[J]. *管理科学学报*, 2009, 12(3): 71-76.  
(Li J, Huang P Q, Gu F, et al. Research on inventory strategy based on brand competition of supply chain[J]. *J of Management Sciences in China*, 2009, 12(3): 71-76.)
- [9] 韩小花, 薛声家. 竞争的闭环供应链回收渠道的演化博弈决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(7): 1487-1493.  
(Han X H, Xue S J. Reverse channel decision for competition closed-loop supply chain based on evolutionary game[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2010, 16(7): 1487-1493.)
- [10] Gu Q L, Gao T G. Management of two competitive closed-loop supply chains[J]. *Int J of Sustainable Engineering*, 2012, 5(4): 325-337.
- [11] 廖涛, 艾兴政, 唐小我. 基于成本差异与产品替代的链与链竞争纵向结构[J]. *控制与决策*, 2009, 24(7): 1110-1113.  
(Liao T, Ai X Z, Tang X W. Control structure of chain competition under difference of cost and product substitutability[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(7): 1110-1113.)
- [12] Wu C Q, Du H W, Lu X J. Vertical integration in competing supply chains under additive stochastic demand[J]. *Int J of Intercultural Information Management*, 2012, 3(1): 82-106.

## 下 期 要 目

- 关键链项目调度方法研究评述 ..... 张静文, 李若楠
- 基于区间直觉模糊的动态多属性灰色关联决策方法 ..... 刘 勇, 等
- 基于精英学习的量子行为粒子群算法 ..... 章国勇, 等
- 双重信息不对称下虚拟企业监督策略 ..... 陈克贵, 等
- 非线性零阶接近有界多模型神经网络自适应控制器 ..... 黄 淼, 等
- 基于 Curvelet 变换的浮选泡沫图像序列时空联合去噪 ..... 刘金平, 等
- 基于自适应模糊逻辑系统的一类混沌系统同步控制 ..... 王银河, 等
- 统计特性已知的复杂系统控制器设计方法 ..... 钱富才, 等